

Українська державна академія залізничного транспорту

Константінов Денис Володимирович

УДК 656.025.2.001.76

**ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИМІСЬКИХ
ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2010

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Українській державній академії залізничного транспорту на кафедрі Управління експлуатаційною роботою, Міністерство транспорту та зв'язку України

Науковий керівник – доктор технічних наук, професор **Бутько Тетяна Василівна**,

Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України, кафедра “Управління експлуатаційною роботою”, завідуючий кафедрою.

Офіційні опоненти – доктор технічних наук, професор **Котенко Анатолій Миколайович**, Українська державна академія залізничного транспорту Міністерства транспорту та зв'язку України, кафедра “Управління вантажною і комерційною роботою”, професор

Кандидат технічних наук, доцент **Переста Галина Іванівна**, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна Міністерства транспорту та зв'язку України, факультету “Управління процесами перевезень”, декан факультету

Захист відбудеться “27” січня 2011р. о 13 год. 30 хв. На засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.820.04 Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Української державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майдан Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий “10” грудня 2010р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
Прохорченко

А.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Вступ. На даний час залізниці України в основному задовільняють потреби виробництва та населення у перевезеннях. Проте стан виробничо-технічної бази залізниць і технологічний рівень перевезень за багатьма параметрами не відповідають потребам суспільства та європейським стандартам якості надання транспортних послуг, що може стати перешкодою для подальшого соціально-економічного розвитку держави. Особливо це стосується сфери приміських пасажирських перевезень. Сучасні умови функціонування системи приміських перевезень для підтримки її конкурентоспроможності вимагають розробки логістичної технології, що забезпечує надання системі властивостей гнучкості на транспортному ринку. Створення логістичної технології обслуговування пасажирів забезпечується за рахунок впровадження механізму адаптації до коливань рівня попиту на транспортні послуги.

Актуальність теми. На протязі 2003-2009 рр. збитки від приміських перевезень зросли з 698,5 млн. грн. (0,7 млрд. грн.) в 2003 до 1,6 млрд. грн. за результатами 2009 року, що складає близько 120%. На фоні зростання збитків на організацію перевезень в умовах конкурентного тиску з боку автотранспорту відбувається зниження обсягів пасажиропотоків. Це відбувається на фоні суттєвого зносу пасажирського рухомого складу і дуже повільних темпів його поновлення, що призводить до необхідності в умовах дефіциту скорочувати інтенсивність руху приміських поїздів або встановлювати їх на рівні, що не повною мірою забезпечують потреби населення в перевезеннях. Поряд з цим спостерігається недонаселеність приміських поїздів на певних напрямках в певні періоди часу, коли населеність поїздів є меншою за граничний показник рентабельності у 80 %. Дана ситуація вимагає вирішення задачі раціонального використання робочого парку приміських секцій в умовах дефіциту рухомого складу на основі застосування технологій перевізного процесу, що відповідають тенденціям зміни пасажиропотоків.

Це вимагає розробки та впровадження нової технології роботи, що дозволить здійснювати оперативне регулювання составів та маршрутів слідування приміських пасажирських поїздів в межах діючих графіку руху та графіку обороту приміських поїздів. Таким чином, виникає науково-практичне завдання наукового обґрунтування можливості формування гнучкої технології оперативного регулювання приміських перевезень на основі механізму адаптації, що дозволить раціонально перерозподілити робочий парк приміських секцій за рахунок вивільнення малонаселених вагонів та використання їх на напрямках з більш потужним пасажиропотоком.

Зважаючи на вище викладене, тема дисертаційної роботи є актуальною і зорієнтованою на вирішення важливих питань удосконалення технології приміських перевезень.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконувалася у відповідності з Концепцією Державної програми реформування залізничного транспорту України (розпорядження КМУ від 27.12.2006 № 651-р.) та Програмою інформатизації залізничного транспорту (від 2002 р.), а також з науково-дослідницькою роботою “Розробка та формування автоматизованих логістичних технологій залізничного транспорту” (ДР№0108U000077).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є наукове обґрунтування можливості формування адаптивної технології приміських залізничних пасажирських перевезень на основі застосування оперативного регулювання составів приміських поїздів на станціях їх оборту та регулювання маршрутів слідування в середовищі інформаційно-керуючої системи (ІКС), яка надасть системі необхідної гнучкості та дозволить раціонально використовувати парк приміських секцій та перспективних зразків рухомого складу, таких як рейковий автобус.

Реалізація цієї мети потребує постановки та вирішення наступних задач дослідження:

- провести аналіз існуючої технології роботи та інформаційного забезпечення приміського комплексу в умовах діючої системи регулювання приміським рухом з дослідженням населеності приміських поїздів, структури та параметрів пасажиропотоків;

- розробити адаптивну математичну модель прогнозування приміських пасажиропотоків, що має властивості самонавчання, та враховує вплив внутрішньодобового фактору нерівномірності попиту по періодам доби;

- формалізувати технологію оперативного регулювання кількості секцій з можливістю вирішення задачі розрахунку раціонального складу приміських пасажирських поїздів відповідно до прогнозованих пасажиропотоків;

- оцінити умови можливості реалізації технології оперативного регулювання составів на станціях оборту, виходячи з аналізу існуючих технічних та технологічних параметрів пасажирських станцій обороту приміських поїздів;

- розробити комплекс моделей, що формалізують технологію регулювання приміськими маршрутами в рамках діючого графіку руху поїздів (ГРП);

- удосконалити функціональну схему існуючої ІКС шляхом інтегрування розробленого комплексу моделей адаптивної технології на автоматизовані робочі місця (АРМ) оперативних працівників з розробкою додаткових задач для формування розподіленої системи підтримки прийняття рішень (СППР);

- обґрунтувати економічну доцільність впровадження адаптивної технології оперативного регулювання приміських перевезень.

Об'єкт дослідження – процес приміських пасажирських перевезень на мережі залізниць України.

Предмет дослідження – адаптивна технологія оперативного

регулювання приміських перевезень.

Методи дослідження. Виконані дослідження базуються на системному підході, процедурі моніторингу приміських пасажиропотоків та населеності приміських поїздів з використанням інформаційної моделі процесу перевезення, методів статистичного аналізу, теорії ймовірностей та математичної статистики. Розробка комплексу математичних моделей прогнозування та оперативного регулювання базується на використанні методів теорії нечіткої логіки, нейронних мереж і генетичних алгоритмів.

3

Наукова новизна одержаних результатів. В дисертаційній роботі представлено теоретичне обґрунтування надання гнучкості системі приміських залізничних перевезень шляхом формування адаптивної технології на основі комплексу моделей, що забезпечують відповідність послуг параметрам пасажиропотоків, а саме:

Вперше:

- сформовано адаптивну технологію оперативного регулювання составів приміських поїздів на основі нейро-нечіткого моделювання, що на відміну від існуючої дозволяє врахувати коливання попиту на транспортні послуги;

- формалізовано процес винайдення раціональних маршрутів прямування приміських поїздів за маятниковою, кільцевою схемами курсування та схемою “зірка”, що сприяє зменшенню експлуатаційних витрат в умовах використання оперативного регулювання составів при плануванні розкладу руху на основі методів нейро-нечіткого та еволюційного моделювання.

Доопрацьовано модель оперативного прогнозування приміських пасажиропотоків на основі апарату нечіткої логіки, генетичних алгоритмів та нейронних мереж, яка враховує фактор послідовності годин в періоді доби, забезпечує властивість самонавчання та похибку прогнозування до 4-5%.

Удосконалено функціональну схему існуючої ІКС з розробкою додаткових задач на АРМ оперативних працівників шляхом інтегрування розробленого комплексу моделей адаптивної технології на структурі розподіленої СППР.

Практичне значення одержаних результатів. Розроблений комплекс моделей для реалізації оперативного регулювання та планування приміськими перевезеннями дозволяє привести технологію організації приміських перевезень у відповідність з фактичним попитом, за умови достатнього часу на визначення оптимальних регулювальних заходів та здійснення оперативного регулювання составів приміських поїздів за період їх оборту на станціях, та визначити оптимальні маршрути прямування приміських поїздів. Сформована адаптивна технологія на основі комплексу моделей дає можливість вивільнити до 10% експлуатаційного парку секцій моторвагонного рухомого складу в умовах його дефіциту, та дозволяє сформулювати вимоги щодо подальшої закупівлі та виробництва нового рухомого складу, зокрема рейкових автобусів, який можливо експлуатувати

за модульним принципом.

Впровадження розробленого комплексу моделей дозволить сформувати розподілену СППР на основі локальної комп'ютерної мережі з перспективою подальшого формування автоматизованої технології управління системою приміських перевезень.

Запропоновану адаптивну технологію впроваджено на Південній залізниці, а також у навчальному процесі Української державної академії залізничного транспорту при дипломному проектуванні, проведенні учбово-дослідних робіт студентів та в інституті перепідготовки та підвищення кваліфікації (ІППК) при підготовці магістрів. Практичне впровадження результатів роботи підтверджується відповідними актами впровадження, які наведено в додатку до роботи.

Особистий внесок здобувача. Усі результати роботи отримані особисто автором. Наукові праці [3,5] виконані автором одноосібно. У наукових працях, які опубліковані у співавторстві, особистий внесок автора такий:

- в статті [1] розроблена модель прогнозування пасажиропотоків на основі математичного апарату нечіткої логіки, генетичних алгоритмів та нейронних мереж;

- в статті [2] сформовано модель оперативного регулювання складів приміських поїздів на опорних станціях напрямків в умовах прогнозування пасажиропотоків;

- в статті [4] розроблена математична модель оперативного регулювання маршрутами шляхом вибору напрямку прямування на основі нейро-нечіткого моделювання.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися, обговорювалися та ухвалено на 69-71й міжнародних науково-практичних конференціях Української державної академії залізничного транспорту, 2008-2010 рр., м. Харків; 4-й та 5-й міжнародних науково-практичних конференціях “Проблеми міжнародних транспортних коридорів та єдиної транспортної системи України”, 2008-2009 рр., смт. Коктебель; І науково-практичній конференції “Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті”, 2008 р., м. Сімферополь; І міжнародній науково-практичній конференції “Маркетинг і логістика в системі менеджменту пасажирських перевезень на залізничному транспорті”, 2009 р., м. Львів; 70-й міжнародній науково-практичній конференції “Проблеми та перспективи розвитку залізничного транспорту”, Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна, 2010р., м. Дніпропетровськ; міжнародній науково-практичній конференції “Сучасні напрямки теоретичних і прикладних досліджень ‘2010’”, м. Одеса, 2010р.

Дисертаційна робота повністю доповідалась на науковому семінарі кафедри Управління експлуатаційною роботою Української державної академії залізничного транспорту (2010р.) та на науковому семінарі кафедри Залізничні станції та вузли Дніпропетровського національного університету

залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна (2010р.).

Публікації. Відповідно до теми дисертації опубліковано 5 наукових робіт (дві з них без співавторів) у виданнях, що затверджені ВАК України як фахові.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

Обсяг основного тексту складає 135 сторінок друкованого тексту, 27 ілюстрацій, 5 таблиць, список використаних джерел, що включає 195 найменувань і 6 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дослідження, відображені наукова новизна та практична цінність, подано загальну характеристику роботи.

У першому розділі виходячи із мети дисертаційної роботи проведено дослідження сучасних особливостей організації залізничних приміських пасажирських перевезень в Україні, в рамках якого було проведено аналіз вітчизняного та закордонного і 5 ду організації приміських пасажирських перевезень, наукових розробок з удосконалення технології пасажирських приміських перевезень, функціонування інформаційних систем в управлінні приміськими перевезеннями, та проаналізовано техніко експлуатаційні показники функціонування приміського залізничного транспорту.

Аналіз існуючої технології роботи та інформаційного забезпечення приміського комплексу в умовах діючої системи регулювання приміським рухом довів, що сучасна технологія регулювання приміськими перевезеннями не повністю враховує нерівномірність процесу формування пасажиропотоків, що призводить до зниження ефективності використання приміського рухомого складу в певні періоди доби, та невизначеності вхідної інформації щодо об'ємів попиту на приміські перевезення. Існуюче інформаційне забезпечення приміських перевезень не підтримує вирішення завдання автоматизації технологічних процесів регулювання приміським рухом в умовах оперативного планування.

Дослідження структури та параметрів пасажиропотоків в приміському сполученні по місяцях року, дням окремих місяців та годинам окремих діб за період 2007-2009 рр. свідчить про наявність значних коливань, що обумовлені впливом сезонного фактору, ефектами робочого та вихідного дня, фактором погодинної нерівномірності приміських пасажиропотоків в межах доби. Величина коефіцієнту нерівномірності коливається в межах від 1,1 до 1,8 в залежності від напрямків перевезень та періодів дослідження. Аналіз величини населеності приміських поїздів, свідчить про значне зниження цього показника відносно 80%, що є межею рентабельності в пасажирських перевезеннях. Це підтверджує неефективність використання приміського

рухомого складу і потребує вирішення завдання раціоналізації експлуатації приміських поїздів в умовах нерівномірності пасажиро потоків та дефіциту рухомого складу на основі адаптивної технології.

В розвиток досліджень щодо розробки систем регулювання розмірів руху пасажирських поїздів, технічного розвитку станцій, визначення оптимальних схем формування поїздів, застосування інформаційних технологій в експлуатаційній роботі внесли великий вклад такі вчені та практики: В.М. Акулінічев, І.М. Аксенов, А.А. Босов, В.І. Бобровський, Т.В. Бутько, І.В. Берестов, П.С. Грунтов, М.І. Данько, В.К. Доля, С.С. Жабров, І.В. Жуковицький, В.І.Крячко, Ю.Ф. Кулаєв, В.М. Кулешов, Д.В. Ломотько, В.І. Лукашев, Г.І. Музикіна, Є.В. Нагорний, В.Я. Негрей, Г.І. Нечаєв, Ю.О. Пазойський, Г.Н. Плахов, Н.В. Правдін, А.В. Прохорченко, В.В. Скалозуб, А.О.Смехов, Є.А. Сотніков, К.Ф. Сьомін, Б.І. Торопов, М.М. Чепцов, В.А. Федоров, А.Н. Фролов, В.Г Шубко, С.П. Шумський, П.О. Яновський та інші. В роботах провідних вчених даного напрямку відмічається, що основний принцип формування системи регулювання пасажирськими перевезеннями всіх сполучень виходить з умов утримання ресурсів перевізного процесу в межах освоєння змінного попиту на перевезення за рахунок послідовного застосування регулювальних заходів на основі прогнозування. Але раніш розроблені методи регулювання пасажирських перевезень здебільшого розроблялися з метою використання у дальньому та місцевому сполученнях, що вказує на відсутність достатньої уваги до проблем приміського руху. До того ж вони базувалися на недосконалих системах і регулювання пасажиропотоків, що мали значні похибки в результатах. Самі ж методи регулювання характеризувалися значним періодом інерційності, що не відповідає динаміці зміни вхідних показників приміських перевезень, особливість яких полягає в необхідності значного зменшення періоду інерційності. При цьому раніш запропоновані підходи не враховували можливості організації гнучких схем курсування приміських поїздів із застосуванням не тільки традиційної маятникової схеми. Пропозиції щодо впровадження інформаційного забезпечення не враховували можливість створення узагальненої системи управління приміськими перевезеннями на структурі розподіленої СППР.

Таким чином актуальним є вирішення завдання наукового обґрунтування можливості формування адаптивної технології приміських пасажирських перевезень на основі оперативного регулювання составів приміських поїздів на станціях їх обороту та розробки оптимальних схем курсування в умовах функціонування інформаційно-керуючої системи, побудованої на структурі розподіленої СППР.

У другому розділі, виходячи з поставленого завдання, розроблено адаптивну модель системи оперативного прогнозування приміських пасажиропотоків на основі використання математичних апаратів нечіткої логіки, генетичних алгоритмів та нейронних мереж. Задача прогнозування в

загальному вигляді зводиться до визначення майбутніх значень впорядкованих в часі даних на основі аналізу та виявлення складних залежностей у вже існуючих даних. Відповідно проведених досліджень з метою зменшення розмірності моделі прогнозування була прийнята структура математичної моделі, що має п'ять входів x_i , $i = \overline{1,5}$, на які подаються попередні значення тимчасового ряду в момент часу t , $t-1$, $t-2$, $t-3$, $t-4$ відповідно, та один вихід \tilde{y} , який представляє значення ряду в момент $t+1$.

$$\mathbf{X} = (X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, X_{t-4}) \rightarrow y_{t+1} = f(\mathbf{X}) \quad (1)$$

де $\mathbf{X} = (X_t, X_{t-1}, X_{t-2}, X_{t-3}, X_{t-4})$ - значення пасажиропотоку в певні періоди доби t , що подаються на вхід моделі, з глибиною занурення d ; $y_{t+1} = f(\mathbf{X})$ - прогнозне значення пасажиропотоку на наступний період доби $t+1$, що залежить від значення входу.

З метою пристосування моделі до нечіткості вхідної інформації використано теорія нечіткої логіки, що передбачає представлення кількісних значень параметрів моделі у вигляді лінгвістичних змінних, які оцінюються нечіткими термами. Внаслідок цього втрачається точність вхідних даних, проте виникає можливість пристосування до невизначених умов, що присутні в задачі прогнозування пасажиропотоків. Виходячи з цього, формування моделі прогнозування припускає завдання вхідних змінних x_i ($i = \overline{1,d}$) у вигляді лінгвістичних змінних N_i , що задані на універсальній множині X_i .

Для оцінки лінгвістичних змінних використовуються якісні терми T_i^p , $p = \overline{1,l}$ із наступної терм-множини T_i , $T_i^p \in T_i$ де кожен терм T_i^p описується нечіткою множиною $Z_i^p = \{\langle \mu_{Z_i^p}(x_i) / x_i \rangle\}$, $x_i \in X_i$, де $\mu_{Z_i^p} : X_i \rightarrow [0,1]$ - функція приналежності, що приймає значення в інтервалі $[0,1]$ та $x_i \in X_i$, $Z_i^p \subset X_i$.

Відповідно до розглянутих вимог та обмежень, входи моделі представлено як лінгвістичні змінні (ЛЗ), значення яких визначаються на єдиній шкалі з п'яти термів для всіх x_i , $i = \overline{1,5}$: Н - низький, НС - нижчий за середнє, С - середній, ВС - вищий за середнє, В - високий. Для відображення функцій приналежності (ФП) термів вхідних змінних у функціональній формі була обрана крива Гауса.

Реалізація моделювання на основі нечітких баз знань здійснюється через нечіткий логічний висновок по алгоритму Такагі Сугено. Структура взаємозв'язку між вхідними і вихідною змінними в такому алгоритмі описується правилами b^k , $k = \overline{1,N}$, які нечіткі тільки в частині умови, тоді як висновок являє чітку лінійну функцію від входів. Множина правил

представляє собою нечітку базу правил R_{b^k} , в якій нечітке правило b^k для змінних x_i можна представити як логічну комбінацію в наступному вигляді:

$$b^k : \text{ЯКЩО } x_1 \in F_1^k(x_1) \text{ ТА } x_n \in F_n^k(x_n), \text{ТО } y^k = p_0^k + p_1^k x_1 + \dots + p_n^k x_n, [w^k] \quad (2)$$

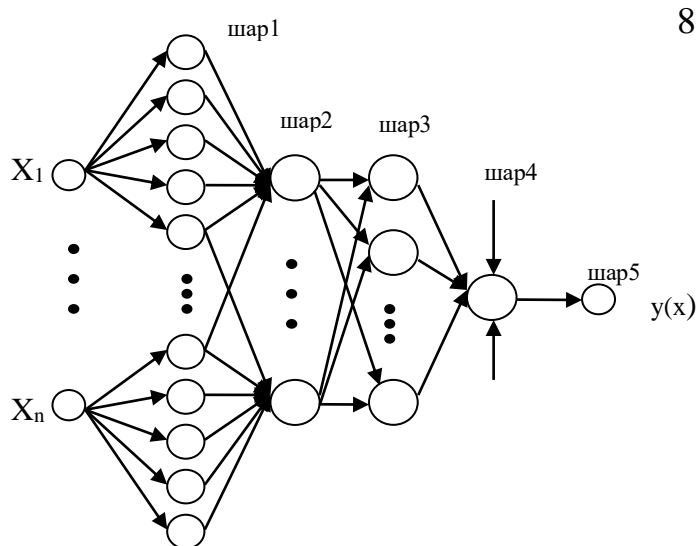
де F_i^k – нечіткий терм з ФП $\mu_{z_i^k}^k(x_i)$, $(k = \overline{1, N}, i = \overline{1, n})$; y^k – вихід кожного правила, що представлений як поліном першого порядку з коефіцієнтами p_1^k, \dots, p_n^k та вільною складовою p_0^k ; $w^k \in [0, 1]$ – вага правила, що характеризує ступінь впевненості у кожному k -му правилі бази знань.

База правил типу (3) представляє собою ядро системи прогнозування, сутність подальшого розвитку якої полягає в представленні запропонованого нечіткого висновку у вигляді адаптивної нейро-нечіткої мережі висновків (ANFIS), що дозволяє покращити точність прогнозування за рахунок навчання (рис.1).

Для генерування та уточнення нечітких правил нейро-нечіткої мережі на основі спеціальних навчальних методик було використано сучасний математичний апарат генетичних алгоритмів. Рішення поставленої задачі передбачає представлення набору параметрів моделі у вигляді хромосоми фіксованої довжини C_h , що складається з трьох частин:

$$C_h = (C^1 C^2 C^3) \quad (3)$$

Перша частина хромосоми C^1 представлена генами, які визначаються параметрами ФП. Друга частина хромосоми C^2 реалізує гени, що визначають коефіцієнти висновків відповідних правил. Остання частина хромосоми C^3 реалізує гени, що визначають структуру умови кожного правила.



8

- Шар1 – перетворення вхідної змінної у нечіткий терм
- Шар2 – формалізація та вибір правила
- Шар3 – обчислення нормованої сили правила
- Шар4 – розрахунок внеску кожного нечіткого правила у вихід
- Шар5 – обчислення вихідного значення

Рис.1. Нейроструктурна схема ANFIS гібридної системи прогнозування приміських пасажиропотоків

Для отримання комплексної моделі прогнозування сформовано загальну структуру (рис.2), що враховує вплив механізму самонавчання, закладеного у її основу, де через зворотній зв'язок інформація з виходу подається на вхід, таким чином корегуючи параметри моделі. За рахунок цього модель пристосовується до коливання пасажиропотоків та враховує в процесі моделювання відповідні періоди доби, збільшуючи точність результатів, та дозволяє враховувати послідовність інтервалів у періоді прогнозування відповідно вибраному типу доби.

Запропонований алгоритм прогнозування стійкий до нечіткості вхідної інформації та дозволяє виконувати прогноз добового пасажиропотоку з перспективою на 24 години вперед, забезпечуючи похибку не більше 4-5%.

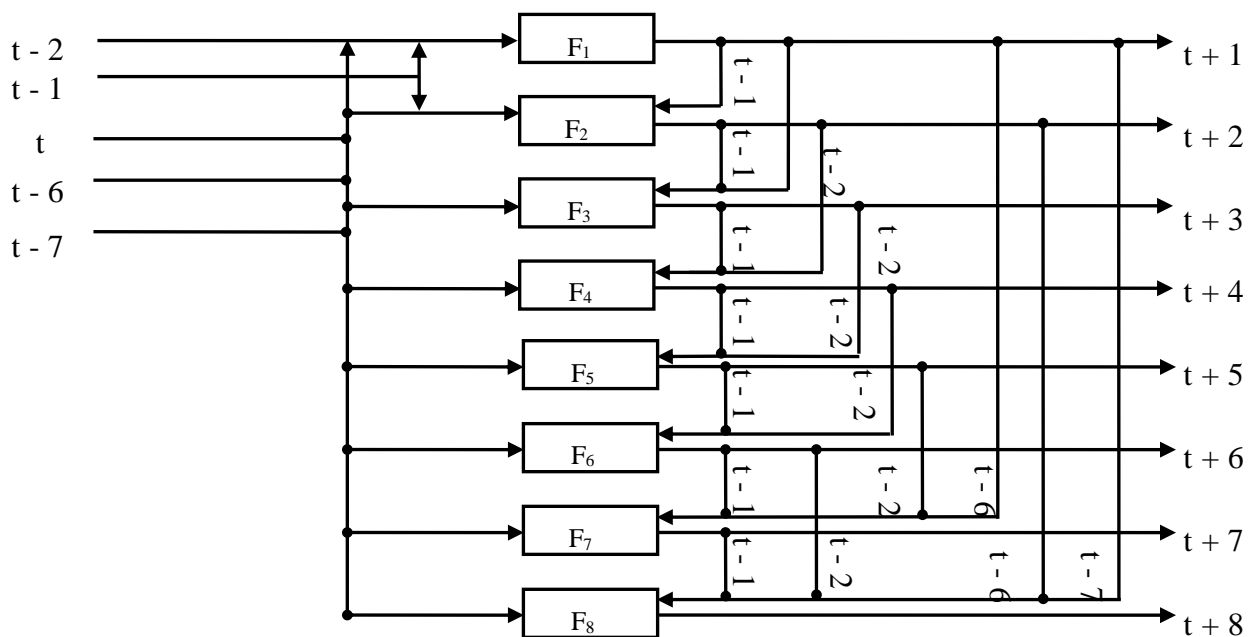


Рис.2. Загальна структура моделі прогнозування

У третьому розділі розроблено комплекс моделей реалізації адаптивної технології приміських перевезень на основі оперативного регулювання складів на станціях обороту приміських поїздів, та формування оптимальних маршрутів прямування.

Згідно поставленої задачі в роботі було формалізовано технологію оперативного регулювання складів відповідно до прогнозованих пасажиропотоків за умови достатнього часу згідно графіку обороту та вибір відповідних заходів за мінімумом витрат на них. З цією метою було побудовано систему рівнянь (4), що відображає можливі варіанти оперативного регулювання з визначенням відповідних витрат:

$$C_{ij} = \left\{ \begin{array}{l} 0, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K \leq T_j^K, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^K = \sum_{n=1}^p D_{nj}^K \\ C_\epsilon = \left(\sum_{n=1}^m D_{ni}^K - \sum_{n=1}^k D_n^K \right) \cdot C_\epsilon^{op}, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K \leq T_j^K, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^K > \sum_{n=1}^p D_{nj}^K \\ C_n = \left(\sum_{n=1}^m D_{ni}^K + \sum_{n=1}^r D_n^K \right) \cdot C_n^{op}, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K \leq T_j^K, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^K < \sum_{n=1}^p D_{nj}^K \\ S, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K > T_j^K, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^K = \sum_{n=1}^p D_{nj}^K \\ S + C_\epsilon, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K > T_j^K, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^K > \sum_{n=1}^p D_{nj}^K \\ S + C_n, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K > T_j^K, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^K < \sum_{n=1}^p D_{nj}^K \\ l_{KH}, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K + t_x^{KH} + t_{об}^H \leq T_j^H, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^H = \sum_{n=1}^p D_{nj}^H \\ l_{KH} + C_\epsilon, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K + t_x^{KH} + t_{об}^H \leq T_j^H, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^H > \sum_{n=1}^p D_{nj}^H \\ l_{KH} + C_n, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K + t_x^{KH} + t_{об}^H \leq T_j^H, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^H < \sum_{n=1}^p D_{nj}^H \\ S + l_{KH}, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K + t_{об}^H + t_x^{KH} > T_j^H, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^H = \sum_{n=1}^p D_{nj}^H \\ S + l_{KH} + C_\epsilon, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K + t_{об}^H + t_x^{KH} > T_j^H, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^H > \sum_{n=1}^p D_{nj}^H \\ S + l_{KH} + C_n, \text{ якщо } t_i^K + t_{об}^K + t_{об}^H + t_x^{KH} > T_j^H, \text{ ма } \sum_{n=1}^m D_{ni}^H < \sum_{n=1}^p D_{nj}^H \end{array} \right.$$

(4)

де t_i^K – час прибуття поїзду за i ниткою розкладу на станцію К; $t_{об}^K, t_{об}^H$ – час обороту поїзду по станції К чи Н; T_j^K, T_j^H – час відправлення поїзду за j ниткою розкладу зі станції К чи Н; $\sum_{n=1}^m D_{ni}^K$ – сумарна кількість m секцій, що прибувають на станцію обороту К за i ниткою розкладу; $\sum_{n=1}^{k(r)} D_n$ – сумарна кількість $k=m-p$ секцій, що відчеплюються від складу або $r=p-m$ секцій, що причеплюються і знаходяться на станції на момент прибуття; $\sum_{n=1}^p D_{nj}^K$ – прогнозуємий пасажиропотік перенесених сумарну кількість p секцій, що відправляються зі станції обороту К за j ою розкладу; $C_\epsilon^{op}, C_n^{op}$ – витрати на здійснення відчеплення або причеплення однієї секції (грн./секцію); C_ϵ, C_n – витрати на оперативне регулювання з відчеплення або причеплення секцій (грн.); t_x^{KH} – час руху між станціями обороту; l_{KH} – витрати на прямування між станціями обороту (грн.); S – витрати на середньодобовий пробіг секції (грн.).

З огляду на складність реалізації зазначеної технології в сучасній системі приміських перевезень було оцінено умови можливості її реалізації

на основі аналізу існуючих технічних та технологічних параметрів пасажирських станцій обороту приміських поїздів. Аналіз довів, що в сучасних умовах роботи станцій обороту при певній зміні їх технології є можливість впровадження оперативного регулювання составів приміських поїздів, за умови наявності достатнього колійного розвитку, маневрового локомотиву та достатнього часу на оперативне регулювання (за дослідженнями $T_{op}=40-50$ хвилин), що здебільше забезпечується на існуючій інфраструктурі. Технічна реалізація оперативного регулювання потребує навчання відповідних працівників навичкам роботи в умовах високої напруги.

Реалізацію адаптивної технології спрямовано на надання системі приміських перевезень гнучкості до змін ситуації на ринку перевезень, що обумовлює необхідність розробки та впровадження СППР, спрямованих на оптимізацію процесу прийняття оперативних рішень на всіх рівнях управління приміським пасажирським комплексом. Для розв'язання поставленої задачі запропоновано підхід на основі використання математичного апарату нечіткої логіки та нейронних мереж.

З огляду на особливості поставленої задачі можливі варіанти реалізації оперативного регулювання приміських перевезень та використання в експлуатації рейкового автобуса залежать від трьох основних параметрів технологічного процесу в приміському русі – запланованого оперативного регулювання составів приміських поїздів відповідно до прогнозів пасажиропотоків ΔD , населеності приміського пасажирського поїзду H даного напрямку на момент розрахунку та достатнього часу на оперативне регулювання $t_{об}$ в умовах обмеження за розкладом руху, де

$$\Delta D = \sum_{n=1}^p D_{nj} - \sum_{n=1}^m D_{ni},$$

(5)

$$H = \frac{y(x) \cdot \alpha_{ек} \cdot 100\%}{\sum_{n=1}^p D_{nj} \cdot A_c},$$

$$t_{об} = T_j - t_i,$$

$$t_{об} \geq T_{op}$$

(7)

де $y(x)$ - проноз пасажиропотоку на певний період доби на даний напрямок; A_c - місткість приміської секції, що відповідає рівню рентабельності; $\alpha_{ек}$ - коефіцієнт, що враховує економічно вигідну категорію пасажирів (не пільгові категорії).

Таким чином, задача розробки відповідних рішень для оперативного регулювання композиції составу полягає у виконанні відображення

$$(8) \quad X = (\Delta D, H, t_{об.}) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\}$$

де d_1 - збільшити кількість секцій на $r=p-m$; d_2 - зменшити кількість секцій на $k=m-p$; d_3 - не виконувати оперативного регулювання; d_4 - призначити додатковий електропоїзд; d_5 - відмінити електропоїзд; d_6 - призначити рейковий автобус і відмінити електропоїзд; d_7 - відмінити рейковий автобус та призначити електропоїзд.

В якості вхідних параметрів нечіткої моделі будемо розглядати три нечіткі ЛЗ: $N_1 = \Delta D = \text{«Запланована величина зміни складу»}$, $N_2 = H = \text{«Населеність приміського поїзду»}$ та $N_3 = t_{об} = \text{«Час знаходження на станції обороту»}$. Формалізацію нечітких термів здійснено за допомогою функцій приналежності (ФП), параметри яких можуть модифікуватися в процесі настроювання моделі, що дозволяє змінювати положення та структуру нечітких множин. Значення першої ЛЗ ΔD визначається з терм-множини $T_1 = \{\text{«від'ємно високі»(ВВ), «від'ємно низькі»(ВН), «відсутні»(Н), «додатньо низькі»(ДН), «додатньо високі»(ДВ)}\}$. Другу ЛЗ H описано за допомогою терм-множини $T_2 = \{\text{«нижче мінімального»(НМ), «оптимальне»(О), «вище максимального»(ВМ)}\}$. Третю ЛЗ $t_{об}$ визначаємо за допомогою терм-множини $T_3 = \{\text{«нижче ніж достатній»(НД), «достатній»(Д)}\}$.

Реалізація моделювання на основі нечітких баз знань здійснюється через нечіткий логічний висновок по алгоритму Такагі Сугено

$$(9) \quad r_k : \text{Якщо } x_1 \in a_1^{(k)} \perp x_2 \in a_2^{(k)} \perp x_3 \in a_3^{(k)} \text{ то } d_k = m_{0,k} + b_{1,k} \cdot x_1 + b_{2,k} \cdot x_2 + b_{3,k} \cdot x_3$$

де r_k - нечітке правило за порядковим номером k , $k = \overline{1, N}$; x_i - відповідні нечіткі ЛЗ; $a_i^{(k)}$ - нечіткий терм з ФП $\mu_A^{(k)}(x_i)$, що застосовується для лінгвістичної оцінки змінної x_i у k -му правилі ($k = \overline{1, N}, i = \overline{1, n}$); d_k - висновок кожного правила являє чітку лінійну функцію представлену як поліном першого порядку з коефіцієнтами $b_{1,k}, \dots, b_{q,k}$ ($q = \overline{1, n}, k = \overline{1, N}$) та вільною складовою $m_{0,k}$; \perp - операція логічного зв'язування *та, або*.

У результаті практичного аналізу розробки відповідних рішень для оперативного регулювання складів приміських поїздів, була сформована система нечітких правил виду:

$$r_1 : \text{Якщо } \Delta D \in \text{«ДН» та } H \in \text{«ВМ» та } t_{об} \in \text{«Д»}, \text{ то } d_1;$$

$$r_2 : \text{Якщо } \Delta D \in \text{«ВН» та } H \in \text{«НМ» та } t_{об} \in \text{«Д»}, \text{ то } d_2;$$

- r_3 : Якщо $\Delta D \in \text{“Н”}$ або $H \in \text{“О”}$ або $t_{об} \in \text{“НД”}$, то d_3 ;
- r_4 : Якщо $\Delta D \in \text{“ДВ”}$ або $H \in \text{“ВМ”}$ або $t_{об} \in \text{“НД”}$, то d_4 ;
- r_5 : Якщо $\Delta D \in \text{“ВВ”}$ або $H \in \text{“НМ”}$ або $t_{об} \in \text{“НД”}$, то d_5 ;
- r_6 : Якщо $\Delta D \in \text{“ВН”}$ та $H \in \text{“НМ”}$ та $t_{об} \in \text{“НД”}$, то d_6 ;
- r_7 : Якщо $\Delta D \in \text{“ДН”}$ та $H \in \text{“ВМ”}$ та 12 “НД”, то d_7 .

Результатом формування нечіткої бази правил є подальша її реалізація на основі штучної нейронної мережі з п'ятишаровою прямонаправленою архітектурою з використанням «логічних нейронів» (та-, або- нейронів), що моделюють логічні зв'язування (структура та призначення шарів як на рис.1).

Нечітка модель оптимізована по навчальній вибірці із 70 експериментальних даних у вигляді <вхід (ΔD , H , $t_{об}$) – вихід (d_k)>. В результаті проведення перевірки на адекватність моделі було встановлено, що похибка не перевищує 4-5%, та відповідає необхідному рівню точності на виході моделі.

На сучасному етапі розвитку управління приміськими перевезеннями формування маршрутів прямування приміських поїздів реалізується шляхом вибору оптимальної схеми курсування, в основу якої покладено здебільшого маятникову схему. Вона є достатньо ефективною, але за відсутністю оперативного регулювання в умовах руху за цією схемою відмічається низька ефективність використання приміського рухомого складу. Можливим вирішенням питання оптимізації використання приміського рухомого складу в умовах впровадження оперативного регулювання складів приміських поїздів може бути розробка нових гнучких схем курсування, заснованих на принципах адаптації до рівня попиту та мінімізації витрат на перевезення. В основу вибору схеми курсування доцільно покласти мінімізацію витрат на організацію та слідування певного маршруту, що обумовлюються об'ємом оперативно-регулювальних дій та відповідністю обраного результату мінімуму витрат на шляху прямування.

Для математичної постановки задачі оптимізації технології курсування приміських поїздів в роботі сформовано приклад певного залізничного вузла у вигляді зваженого графу $G(V,R)$, множина вершин V якого представляють собою станції обороту приміських поїздів, а множина ребер R - дільниці шляхів переміщення між V . Вагою кожної вершини графу приймаємо значення сумарної величини витрат на підготовку певного приміського поїзда до відправлення на один з можливих напрямків C_{ij} , що відображає витрати на оперативно-регулювальну роботу відповідно до (4). Вагою кожного ij -го ребра графу (де i - станція відправлення та j - станція призначення) приймаємо значення населеності H_{ij} (6). Вибір напрямку відправлення кожного приміського поїзду полягає у порівнянні значень витрат по кожному напрямку з метою винайдення найменшого значення. Таким чином задача пошуку доцільно представити як оптимізаційну задачу вигляду:

$$\sum_{k_{ij}^p=1}^{T^p} k_{ij}^p (c_{ij}^p + N_{ij}^p) \Rightarrow \min$$

(10)

де k_{ij}^p - кількість приміських поїздів, що відправляються на напрямок приміського руху p із загальної сукупності поїздів на даному напрямку за розкладом T^p , $k_{ij}^p \in T^p$; N_{ij}^p - величина витрат через недонаселеність $N_{ij}^p = (100 - H_{ij}^p) l_{ij}$, де l_{ij} - витрати на прямування між станціями i та j .

Виходячи з існуючого рівня технічної забезпеченості та експлуатаційних можливостей певних д'ї₁₃ ць повинен виконуватись ряд умов:

$$\left\{ \begin{array}{l} k_{ij}^p \leq \Pi_{ij}^p, \text{ при } \Pi_{ij}^p = f(V_{\partial}) \\ \sum_{n=1}^m D_{ni} \pm \sum_{n=1}^{k(r)} D_n \leq P_i^{\text{експл}}, \text{ при } \sum_{i=1}^v P_i^{\text{експл}} \leq P_{\text{заг}}^{\text{експл}} \\ T_{op} \leq t_{ob}, \text{ при } T_{op} \approx 30 \div 60 \text{ хвилини} \\ H_{ij} \geq H_{onm}, \text{ при } H_{onm} = 80 \div 100\% \end{array} \right. ,$$

(11)

де Π_{ij}^p - пропускна спроможність p -го напрямку відносно приміського руху, що залежить від їх дільничної швидкості V_{∂} ; $P_i^{\text{експл}}$ - певна кількість секцій, що знаходяться на i -й станції на момент початку оперативного регулювання; $P_{\text{заг}}^{\text{експл}}$ - загальний експлуатаційний парк приміських секцій у вузлі; H_{onm} - оптимальне значення населеності приміської секції, що відповідає рівню рентабельності.

Вирішення задачі пошуку оптимальних напрямків прямування приміських поїздів запропоновано здійснити з використанням математичного апарату нечіткої логіки та нейронних мереж. З огляду на поставлену задачу можливі варіанти рішення залежать від двох основних параметрів оперативно регулювального процесу в приміському русі – витрат на оперативно-регулювальну роботу c_{ij} відповідно до (4), стосовно зміни кількості секцій в певному составі на i -й станції, та величини населеності на вагон H_{ij} , що розраховується при плануванні відправлення поїзда з i -ї станції на j -ту станцію n -го напрямку згідно (6).

Таким чином, задача розробки відповідних рішень для оперативного регулювання композиції составу полягає у виконанні відображення:

$$X = (c_{ij}, H_{ij}) \rightarrow D \in \{d_1, d_2, \dots, d_k\},$$

(12)

де d_1 - доцільність призначення 100%; d_2 - доцільність призначення 87,5%; d_3 - доцільність призначення 75%; d_4 - доцільність призначення 62,5%; d_5 - доцільність призначення 50%; d_6 - доцільність призначення 37,5%; d_7 - доцільність призначення 25%; d_8 - доцільність призначення 12,5%; d_9 - доцільність призначення 0%.

В якості вхідних параметрів нечіткої моделі розглядалися дві нечіткі ЛЗ: $N_1 = c_{ij}$ = «Витрати на оперативно регулювальну роботу», $N_2 = H_{ij}$ = «Населеність на вагон». Значення першої ЛЗ c_{ij} визначається з терм-множини $T_1 = \{\text{«високі»(В), «середні»(С), «низькі»(Н)}\}$. Другу ЛЗ H_{ij} описано за допомогою терм-множини $T_2 = \{\text{«вище за оптимальне»(ВО), «оптимальне»(О), «нижче за оптимальне»(НО)}\}$. У результаті практичного аналізу розробки відповідних рішень, було сформовано експертну систему нечітких правил на основі нечіткого логічного висновку Такагі Сугено з подальшою реалізацією її на основі штучної нейронної мережі з п'ятишаровою прямонаправленою архітектурою з використанням «логічних нейронів» (та-, або- нейронів), що моделюють логічні зв'язування (структура та призначення шарів як на рис.1). ¹⁴ ліз результатів перевірки на адекватність вказав на досить високий ¹⁴ ль точності роботи тренованої моделі, мінімальний рівень похибки якої не перевищує 0,35%, а загальний – 5%.

Представлені моделі оперативного регулювання складів приміських поїздів та пошуку оптимальних маршрутів прямування є основою для подальшого створення розподіленої СППР на рівні оперативно розпорядчих відділків станцій обороту приміських поїздів. Запропоновані етапи формування адаптивної технології приміських перевезень для взаємного узгодження та практичної реалізації потребують ув'язки їх роботи, що потребує реалізації централізованого керування процесом оперативного регулювання. На структурі розподіленої СППР це можливо здійснити шляхом створення центральної керуючої СППР на рівні оперативно розпорядчого відділу залізниці, завданням якої буде узгодження операцій оперативного регулювання складів та формування схем курсування приміських поїздів на основі збору звітних даних щодо інформаційно-технологічної роботи на станціях.

Враховуючи можливу багатоваріантність вирішення задачі формування приміських маршрутів, в роботі було використано математичний апарат теорії еволюційних обчислень і реалізації моделі на основі генетичних алгоритмів. Рішення задачі формалізовано на прикладі певного залізничного вузла у вигляді зваженого графу $G(v,r)$, множина вершин v якого представляють собою станції обороту приміських поїздів, а множина ребер r – дільниці сполучення між v . Практична реалізація запропонованого підходу полягає в представленні кожного певного приміського маршруту у вигляді хромосоми

$$H = \sum_{i,j=1}^v h_{ij} \in \{h_{ij}^1, h_{ij}^2, \dots, h_{ij}^k, h_{ij}^{k+1}, \dots, h_{ij}^m\}$$

(13)

де h_{ij}^k - ген, що моделює одну з можливих ділянок прямування від станції відправлення i до станції призначення j та може приймати значення в межах $h_{ij}^k = \begin{cases} 1 - \text{маршрут}_- \text{можливий} \\ 0 - \text{маршрут}_- \text{неможливий} \end{cases}$; m - загальна кількість ділянок у вузлі; k - певна ділянка маршруту із загальної сукупності m , $k \in m$.

В процесі моделювання випадковим чином здійснюється формування набору хромосом - можливих маршрутів прямування. З метою винайдення серед сформованих хромосом оптимальної, яка приймається для подальшого відтворення в якості схеми курсування, було розроблено фітнес функцію. Завдання пошуку оптимального маршруту полягає у визначенні варіанту прямування у вузлі з мінімальними експлуатаційними витратами, тому завдання пошуку у фітнес функції було спрямовано на винайдення мінімального рішення при необхідності виконання ряду умов системи обмежень, яка закладена в неї:

$$FF1(H) = \begin{cases} \min, & \text{якщо } i \in h_{ij}^1 = j \in h_{ij}^{1+m} \text{ та } j \in h_{ij}^k = i \in h_{ij}^{k+1} \text{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

(14) 15

$$FF2(H) = \begin{cases} \min, & \text{якщо } \sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k \leq L_{\max}^{TO-2} \text{ та } \sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k \leq T_{\max}^{лб} \text{ при } h_{ij}^k = 1 \\ \max & \text{в іншому випадку} \end{cases}$$

(15)

де $\sum_{i,j=1}^n l_{ij}^k h_{ij}^k$ - сумарна довжина ділянок прямування обраних генів кожного маршруту; L_{\max}^{TO-2} - максимальна відстань руху між двома суміжними технічними операціями ТО-2 з приміським рухомим складом; $\sum_{i,j=1}^n t_{ij}^k h_{ij}^k$ - сумарний час прямування по i - j ділянкам обраних генів згідно сформованого маршруту; $T_{\max}^{лб}$ - тривалість безперервної роботи локомотивних бригад.

Задачею моделювання є пошук оптимального маршруту з сукупності змодельованих випадковим чином і перевічених в системі обмежень згідно (14) та (15), сумарні витрати на організацію якого c_{ij}^k згідно (4) по кожній станції є мінімальні

$$FF3(H) = \min \sum_{i,j=1}^n c_{ij}^k h_{ij}^k$$

(16)

Таким чином вирішення задачі зводиться до винайдення мінімальних рішень за виразами (14), (15) та (16).

$$FF(H) = (FF1(H) + FF2(H) + FF3(H)) \Rightarrow \min$$

(17)

Результати моделювання довели достатньо високу точність, що підтверджено перевіркою на адекватність, похибка моделювання склала приблизно 6%.

У четвертому розділі запропоновано удосконалення ІКС приміських перевезень на основі формування розподіленої СППР, основою якої є комплекс моделей, що реалізують механізм адаптації системи приміських перевезень. З огляду на існуючу структуру управління приміським комплексом та аналізу можливих варіантів організації СППР було визначено оптимальну структуру розподіленої СППР, яка складається з двох рівнів (оперативно розпорядчого відділу залізниці, та оперативних відділів станцій), та функції, які буде покладено на відповідні рівні СППР.

Економічне обґрунтування запропонованих заходів показало, що внаслідок впровадження адаптивної технології приміських перевезень на основі оперативного регулювання складів та маршрутів можливе вивільнення приміських секцій в розмірі до 10%, при цьому населеність приміських секцій збільшиться в середньому на 8,4%, зниження загальних річних експлуатаційних витрат складе 5% від існуючих, собівартість одного відправленого пасажира зменшиться на 5,5%.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено теоретичне обґрунтування можливості надання гнучкості системі 16 міських перевезень за рахунок розробки комплексу моделей, що фактично відтворюють адаптивну технологію на основі застосування оперативного регулювання складів приміських поїздів на станціях їх обороту та регулювання маршрутів слідування в середовищі інформаційно-керуючої системи, що дозволить раціонально використовувати парк приміських секцій та нових зразків рухомого складу, таких як рейковий автобус.

1. Аналіз існуючої технології роботи та інформаційного забезпечення приміського комплексу в умовах діючої системи регулювання приміським рухом довів, що сучасна технологія регулювання приміськими перевезеннями не повністю враховує нерівномірність процесу формування пасажиропотоків, що призводить до зниження ефективності використання приміського рухомого складу в певні періоди доби. Існуюче інформаційне забезпечення приміських перевезень не підтримує вирішення завдання автоматизації технологічних процесів регулювання приміським рухом в умовах оперативного планування.

Дослідження структури та параметрів пасажиропотоків в приміському сполученні по місяцям року, дням окремих місяців та годинах окремих діб за період 2007-2009 рр. свідчить про наявність значних коливань, що обумовлено впливом сезонного фактору, ефектами робочого та вихідного дня, фактором погодинної нерівномірності приміських пасажиропотоків в межах доби. Величина коефіцієнту нерівномірності коливається в межах від 1,1 до 1,8 в залежності від напрямків перевезень та періодів дослідження. Аналіз величини населеності приміських поїздів свідчить, що показник знаходиться в середньому в межі 60-65%.

2. Розроблено адаптивну математичну модель прогнозування приміських пасажиропотоків шляхом формування гібридної моделі із застосуванням математичних апаратів нечіткої логіки, нейронних мереж та генетичних алгоритмів, що дозволяє виконувати прогноз з перспективою на добу вперед, має властивості самонавчання та враховує послідовність періодів доби, вплив внутрішньодобового фактору нерівномірності попиту по періодам доби. Запропонована модель прогнозування стійка до нечіткості вхідної інформації та забезпечує похибку не більше 4-5%.

3. Формалізовано технологію оперативного регулювання составів приміських поїздів відповідно до прогнозованих пасажиропотоків з можливістю представлення результатів у вигляді оновленого графіку обороту приміських поїздів, що на відмінність від існуючої має властивість гнучкості та пристосованість до зміни попиту на перевезення. Дана технологія формалізована у вигляді моделі на основі використання математичних апаратів нечіткої логіки та нейронних мереж і визначає можливі варіанти оперативно регулювальної роботи з обчисленням кількості рухомих одиниць, які необхідно відчепити або причепити до певного составу, що створює можливість організації приміських перевезень з застосуванням перспективних зразків рухомого складу, таких як рейкові автобуси, за модульним принципом, та дозволяє раціонально перерозподілити існуючий рухомий склад. Згідно результатів моделювання встановлено, що похибка не перевищує 5%.

4. Оцінено умови можливості реалізації технології оперативного регулювання кількості секцій на станціях на основі аналізу існуючих технічних та технологічних параметрів пасажирських станцій обороту приміських поїздів. Аналіз довів, що в сучасних умовах роботи станцій обороту при певній зміні їх техно. ¹⁷ є можливість впровадження оперативного регулювання складів при ¹⁷ их поїздів, за умови наявності достатнього колійного розвитку, маневрового локомотиву, та достатнього часу, приблизно 20-30 хвилин за дослідженнями, на виконання оперативно регулювальних заходів, що в основному забезпечується на існуючій інфраструктурі.

5. Розроблено комплекс моделей, що формалізують технологію регулювання приміськими маршрутами в рамках діючого ГРП за маятниковою, кільцевою схемами курсування та схемою "зірка", що відтворюють процес формування кожного приміського маршруту шляхом

моделювання на двох рівнях - попереднього пошуку напрямків прямування на рівнях станцій з використанням апаратів нечіткої логіки та нейронних мереж та подальшого формування кінцевого результату на основі звітних даних станцій на рівні залізниці з використанням апарату теорії еволюційних обчислень. Встановлено, що запропоновані моделі стійкі до умов невизначеності та коливань попиту на приміські перевезення і забезпечує похибку не більше 5-6%.

6. Удосконалено функціональну схему існуючої ІКС з розробкою додаткових задач на АРМ оперативних працівників шляхом інтегрування розробленого комплексу моделей адаптивної технології на структурі розподіленої СППР для оперативного регулювання составів та формування схем курсування приміських поїздів на основі прогнозування пасажиропотоків в умовах функціонування локальної комп'ютерної мережі з перспективою подальшого створення автоматизованої системи управління приміськими перевезеннями.

7. Економічне обґрунтування запропонованих заходів довело, що внаслідок впровадження адаптивної технології приміських перевезень на основі оперативного регулювання составів та маршрутів можливе вивільнення приміських секцій в розмірі до 10% від існуючої кількості, при цьому населеність приміських секцій збільшиться на 8,4%, зниження загальних річних експлуатаційних витрат складе 5% від існуючих, собівартість одного відправленого пасажира зменшиться на 5,5%.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Константинов Д.В. Моделювання системи оперативного прогнозування пасажиропотоків в приміському сполученні на основі використання інтелектуальних технологій / Т.В. Бутько, Д.В. Константинов, Т.О. Деревянко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – Харків, 2009. – №1/3(37). – С. 43–47.

2. Константинов Д.В. Удосконалення технології організації приміських перевезень / Т.В. Бутько, Д.В. Константинов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – №102. – С. 15–23.

3. Константинов Д.В. Розробка системи підтримки прийняття рішень з застосуванням нейро-нечіткого моделювання для реалізації оперативного регулювання композиції составів у приміському сполученні / Д.В. Константинов // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – Харків, 2009. – №111. – С. 68–81.

4. Константинов Д.В. Моделювання оперативного регулювання маршрутами приміського руху на основі нечіткої логіки та нейронних мереж / Т.В. Бутько, Д.В. Константинов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №1(81) С. 13–19.

5. Константинов Д.В. Формування структури та функцій системи підтримки прийняття рішень в управлінні приміськими перевезеннями / Д.В.

Константинов // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2010. – №3(82)'. – С. 20-23.

АНОТАЦІЯ

Константинов Д.В. Формування адаптивної технології приміських залізничних перевезень. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеню кандидата технічних наук за спеціальністю 05.22.01 – транспортні системи. Українська державна академія залізничного транспорту. Харків, 2010р.

Дисертацію присвячено вирішенню актуального питання удосконалення приміських пасажирських залізничних перевезень шляхом теоретичного обґрунтування можливості формування адаптивної технології на основі оперативного регулювання складів приміських поїздів на станціях обороту та визначенні оптимальних схем їх курсування в умовах функціонування інформаційно-керуючої системи сформованої на структурі розподіленої СППР.

З цією метою в роботі розроблено комплекс моделей прогнозування пасажиропотоків, оперативного регулювання складів приміських поїздів та пошуку оптимальних схем їх курсування, що дозволяють формалізувати адаптивну технологію приміських перевезень та є основою побудови розподіленої системи підтримки прийняття рішень оперативного персоналу. Розроблені наступні моделі: модель оперативного прогнозування пасажиропотоків на основі нечітко-нейро-генетичного моделювання, що має властивості до самонавчання і забезпечує похибку не більше 4-5%; модель оперативного регулювання складів приміських поїздів на основі нейро-нечіткого моделювання, що визначає варіанти оперативно регулювальної роботи, та забезпечує похибку не більше 5%; модель пошуку оптимально напрямку прямування на основі нейро-нечіткого моделювання, що дозволяє визначити оптимальний напрямок відправлення поїзду зі станції, та забезпечує похибку не більше 5%; модель формування оптимальних схем курсування приміських поїздів на основі використання еволюційного моделювання, що дозволяє визначити оптимальні приміські маршрути у вузлі з мінімальними витратами на їх організацію, та забезпечує похибку не більше 6%.

Ключові слова: приміські пасажирські перевезення, прогнозування пасажиро потоків, технологія оперативного регулювання, формування маршрутів прямування, система підтримки прийняття рішень.

АННОТАЦИЯ

Константинов Д.В. Формирование адаптивной технологии пригородных железнодорожных перевозок. - Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.01 - транспортные системы. Украинская государственная академия железнодорожного транспорта. Харьков, 2010г.

Диссертация посвящена решению актуального вопроса усовершенствования пригородных пассажирских железнодорожных перевозок путем теоретического обоснования возможности формирования адаптивной технологии на основе оперативного регулирования составов пригородных поездов на станциях оборота, и определении оптимальных схем их курсирования в условиях функционирования информационно управляющей системы сформированной на структуре распределенной системы поддержки принятия решений.

В соответствии с поставленными задачами в работе был изучен отечественный и зарубежный опыт организации пригородных пассажирских перевозок а также проведен анализ существующей технологии организации работы пригородного сообщения на железных дорогах Украины. Изучены существующие информационные технологии действующие в секторе управления пригородным движением и научные разработки направленные на усовершенствование уровня его организации. Результаты исследований подтвердили неэффективность действующей технологии пригородных перевозок, связанную с низким уровнем использования вместимости пригородного подвижного состава, что подтверждают исследования технико-эксплуатационных показателей работы пригородного сообщения, в частности населенности пригородных поездов, уровень которой колеблется значительно ниже уровня рентабельности.

С целью формирования адаптивной технологии в работе был разработан комплекс моделей прогнозирования пассажиропотоков, оперативного регулирования составов пригородных поездов и поиска оптимальных схем их курсирования, которые являются механизмом реализации гибкой адаптивной технологии, заложенным в основу распределенной СППР в виде двух уровней управления пригородным движением в качестве средств реализации технологического процесса в условиях оперативного регулирования. В основу первого уровня локальных станционных СППР на АРМ работников оперативных отделов станций были положены: модель оперативного прогнозирования пассажиропотоков на основе нечеткой логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов, которая имеет способность к самообучению и обеспечивает погрешность не больше 4-5%; модель оперативного регулирования составов пригородных поездов на основе нейронных сетей и нечеткой логики, которая определяет вариант оперативно регулировочной работы в зависимости от ее объемов, и обеспечивает погрешность не больше 5%; модель поиска оптимального направления следования пригородного поезда на основе нейронных сетей и нечеткой логики, которая позволяет определить оптимальное направление дальнейшего отправления поезда со станции, обеспечивая погрешность моделирования не больше 5%. В основу второго управляющего уровня распределенной СППР на АРМ технологов технико-распорядительного

отдела отделения управления пригородных перевозок положен сбор данных и комплексное согласование работы СППР первого уровня, а также разработка пригородных маршрутов в пределах узла или дирекции с использованием модели формирования оптимальных маршрутов пригородных поездов на основе эволюционного моделирования, которая позволяет формировать оптимальные пригородные маршруты в узле по минимальным суммарным затратам на станциях оборота и пути следования, обеспечивая погрешность моделирования не больше $\epsilon = 20$

Реализация разработанной адаптивной технологии позволяет повысить эффективность пригородных перевозок за счет улучшения использования вместимости подвижного состава и высвобождения малонаселенных секций в количестве до 10%, что дает возможность снизить эксплуатационные затраты. Внедрение в эксплуатацию предложенной распределенной СППР в качестве автоматизированной системы управления пригородными перевозками позволит автоматизировать технологические процессы и создать эффективную основу для дальнейшего усовершенствования технологии в условиях внедрения новых образцов подвижного состава.

Ключевые слова: пригородные пассажирские перевозки, прогнозирование пассажиропотоков, технология оперативного регулирования, формирование маршрутов следования, система поддержки принятия решений.

THE SUMMARY

Konstantinov D.V. Formation of adaptive technology of suburban rail transportation. - the Manuscript.

The dissertation on competition of a scientific degree of a Ph.D. on a speciality 05.22.01 - transport systems. The Ukrainian state academy of a railway transport. Kharkov, 2010.

The dissertation is devoted to the decision of actual problem of improvement of suburban passenger rail transportation by a theoretical substantiation of possibility of formation of adaptive technology on the basis of operative regulation of structures of suburban trains at turn stations, and definition of their optimum schemes of operation in the conditions of functioning is information operating system of the distributed system of support of decision-making generated on structure.

With that end in view in work the complex of models of forecasting of volumes of passenger traffic, operative regulation of structures of suburban trains and search of their optimum movement schemes which allow to formalize adaptive technology of suburban transportations is developed and are a basis of construction of the distributed system of support of decision-making of operation personnel. Following models are developed: the model of operative forecasting of volumes of passenger traffic on the basis of is fuzzy-neuro-genetic modelling which has ability to self-training and provides an error of no more than 4-5 %; the model of operative regulation of structures of suburban trains on the basis of neuro-fuzzy modelling

which defines a variant of operatively adjusting work, and provides an error no more than 5 %; The model of search of an optimum direction of following on the basis of neuro-fuzzy modelling which allows to define an optimum direction of departure of a train from station, and provides an error no more than 5 %; the model of formation of optimum movement schemes of suburban trains on the basis of use of evolutionary modelling which allows to define optimum suburban routes in knot with the minimum expenses for them the organisation, and provides an error no more than 6 %.

Keywords: suburban passenger transportations, forecasting of passenger traffic, technology of operative regulation, formation of routes, system of support of decision-making.

Константинов Денис Володимирович

УДК 656.025.2.001.76

**ФОРМУВАННЯ АДАПТИВНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПРИМІСЬКИХ
ЗАЛІЗНИЧНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ**

05.22.01 – транспортні системи

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Надруковано згідно з оригіналом автора

Відповідальний за випуск
А.В.

к.т.н., доц.. Лаврухін

Підписано до друку “9” грудня 2010р.
Формат паперу 60×84 1/16. Папір для множних апаратів.
Умовн. – друк. арк. 1,0. Обл.-вид. арк. 1,1.
Замовлення №585. Тираж 100 прим.

Видавництво УкрДАЗТу. Свідоцтво ДК №2874 від 12.06.2007р.
Друкарня УкрДАЗТу: 61050, м. Харків, майдан Фейєрбаха, 7